

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2016. 02. 05

引用格式: 程红,刘思彤,孙文邦,等. 基于分层特征描述的舰船目标鉴别[J]. 国土资源遥感,2016,28(2):28-33. (Cheng H, Liu S T, Sun W B, et al. Ship target discrimination based on hierarchical feature description[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(2): 28-33.)

基于分层特征描述的舰船目标鉴别

程 红¹, 刘思彤^{1,2}, 孙文邦¹, 杨 帅¹

(1. 空军航空大学, 长春 130022; 2. 空军西安飞行学院, 西安 710306)

摘要: 针对当前一些目标鉴别方法无法兼顾目标的可分性和方法的有效性, 同时又能减少计算的复杂度等要求, 提出了一种基于分层特征描述的鉴别方法。首先, 提取目标的简单形状或几何特征, 利用加权投票法初步筛选并去除大量易识别的虚警; 然后对筛选的候选目标提取更为复杂的鉴别特征, 利用特征分离法选择最优特征组合, 并采用支持向量机方法进行二次鉴别, 进一步去除虚警, 得到真实目标。实验结果表明, 该方法对目标的整体检测效果较好, 具有较高的可区分性和可鉴别性; 能有效减少计算的复杂度, 同时又能在一定程度上减少外界因素的影响, 有效地去除虚警、保留目标, 其耗时仅为常用方法的 1/3。

关键词: 舰船目标鉴别; 简单特征; 复杂特征; 分层描述

中图法分类号: TP 751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2016)02-0028-06

0 引言

由于海洋背景复杂多样, 采用舰船检测算法得到的候选目标区域不可避免地会存在一些云、阴影等虚警。这些虚警影响了目标检测结果的准确性, 因此需要对检测结果进行进一步的鉴别处理, 以找出真正的舰船目标^[1]。根据不同的鉴别依据, 可以将现有的目标鉴别方法分为基于舰船目标自身特征^[2]的方法和基于先验知识的方法^[3]2 大类。基于先验知识的方法利用目标可能出现的位置、形式或所属区域等先验知识去除虚警, 该类方法简单, 但依赖于先验信息的获取; 基于舰船目标自身特征的方法是直接对目标自身进行鉴别, 主要利用目标和背景在特征空间上的差异完成目标的鉴别, 一般包含特征提取、特征选择和鉴别器设计^[4]等 3 个部分。对于该类方法而言, 特征的描述与选择是进行鉴别的首要任务和关键, 应当同时满足目标的可区分性、可鉴别性和计算简单易实现等要求。但目前的特征提取往往顾此失彼: 如果提取的特征简单且数量少, 鉴别器的计算量小、耗时少, 但可区分性弱、不能很好地满足鉴别需要; 如果提取的特征复杂或数量多, 对目标的可区分性较好, 但计算量就会很大且耗时长; 虽然部分算法利用特征选择缩短了特征维数, 但图像中可能存在的大量虚警仍会影响鉴别性

能和效率。

为解决上述问题, 本文提出一种基于分层特征描述的鉴别方法, 首先提取目标的简单几何特征, 通过加权投票初步筛选并去除大量易区分的虚警; 再对筛选的候选目标提取复杂鉴别特征, 利用特征分离法选择最优特征集并采用支持向量机方法进行二次鉴别, 最终得到真实目标。

1 常用目标鉴别方法

1.1 序贯鉴别法^[5]

对任一切片的特征向量 $\boldsymbol{F} = \{f_1, f_2, \cdots, f_n\}$, 分别设置阈值 $[t_{i_{\min}}, t_{i_{\max}}]$, $i = 1, 2, \cdots, n$, 依次对 f_i 进行判决, 判决公式为

$$h_i = \begin{cases} 1, & f_i \in [t_{i_{\min}}, t_{i_{\max}}] \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad (1)$$

$$H = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2)$$

其中: n 为向量维数; H 为判决结果。仅当 $H = n$ 时才将该切片作为目标保留, 该方法计算简单, 易于实现, 但易受外界因素影响, 因此如何确定各特征的阈值和鉴别顺序还有待研究。

1.2 支持向量机方法

支持向量机(support vector machine, SVM)方法

的目的在于寻找能够使目标和背景具有最大分类间隔的最优超平面^[6],具体性能体现在模型及其参数的选择。线性可分时,可按照公式(3)计算超平面来实现分类,即

$$\min_{\mathbf{w} \neq 0, \mathbf{b}} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2,$$

$$y_i(\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + \mathbf{b}) \geq 1, i = 1, 2, \cdots, n, \quad (3)$$

式中： $\mathbf{x}_i$ 为样本特征向量； y_i 为类标签； $\mathbf{w}$ 和 $\mathbf{b}$ 分别为权矢量和偏差项， $\mathbf{w}^T$ 表示对 $\mathbf{w}$ 进行转置。具体计算过程不再赘述,示意图如图 1 所示。

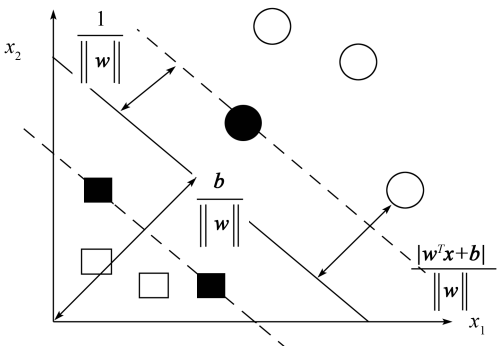


图1 线性可分情况下的超平面

Fig.1 Hyper-plane in the linear separable condition

线性不可分时,可以通过映射将其转化为高维空间中的线性问题,在变换空间中求得最优分类平面,如图 2。

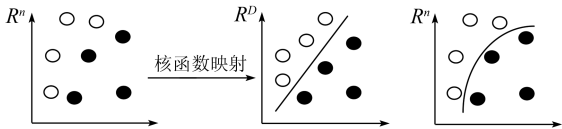


图2 将样本映射到特征空间 R^D

Fig.2 Mapping the sample to feature space R^D

目前最常用的映射是基于核函数的映射,通过选择适当的内积核函数 $K(x,y)$,在不增加计算复杂度的前提下实现非线性分类到线性分类的转变。高斯核函数在核函数中适用性最好,通过选择合理的参数,可以适用于任意分布的样本,是应用最广泛的核函数。在缺少先验信息的情况下,SVM 优先选择高斯核函数。该方法的鉴别效果较好,准确率较高。在此基础上又提出了大量改进方法,但多数计算复杂度高,还有待进一步完善。

2 基于分层特征描述的目标鉴别方法

本文基于分层特征描述的目标鉴别方法主要包括初层鉴别与筛选和深层二次鉴别 2 大步骤,具体流程如图 3 所示。

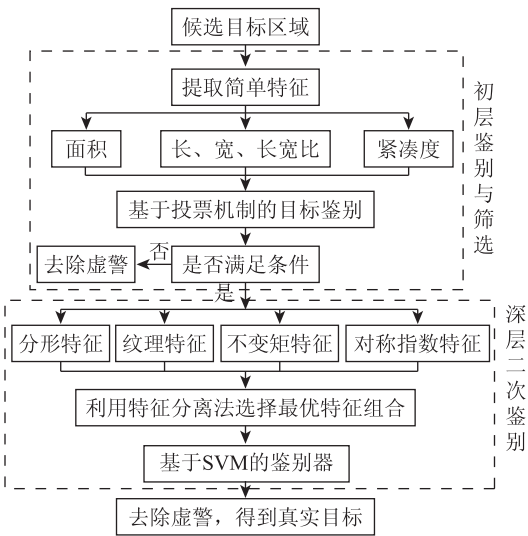


图3 基于分层特征描述的目标鉴别方法

Fig.3 Ship target discrimination based on hierarchical feature description

2.1 初层鉴别与筛选

为了降低鉴别过程的计算量,首先提取简单特征对实验区域进行初层鉴别与筛选,去除大量与目标有明显差异的虚警。

2.1.1 简单特征的提取

区分目标与背景最简单的特征是面积、长、宽与长宽比。舰船目标一般具有特定的长、宽、长宽比和面积范围,根据一定的先验知识或统计信息^[6]设置阈值,即可在一定程度上区分目标与背景。紧凑度 F 定义为

$$F = 4\pi A/P^2, \quad (4)$$

式中： A 为区域面积； P 为区域周长。它能够反映区域的分布性质和边界光滑度,有助于区分目标与背景。相应阈值设置如表 1,其中 R 为图像分辨率。

表1 特征阈值选取

Tab.1 Feature threshold selection

特征	阈值范围	阈值设置原则
长	$[60, 332.8]/R$	航母最长 332.8 m, 最短 60 m
宽	$[8, 77.8]/R$	航母最宽 77.8 m, 最窄 8 m
长宽比	$[4, 12]$	航母的长宽比最小, $[4, 5]$; 护卫舰和驱逐舰长宽比较大, $[9, 12]$; 其他在两者之间
面积	$[60 \times 8, 77.8 \times 332.8]/R^2$	在最小和最大面积之间
紧凑度	$[0.7, 0.9]$	舰船目标形状呈长椭圆形, 边缘较圆滑, 紧凑度较高

2.1.2 基于投票机制的目标鉴别

对于每个候选区域,提取上述 5 种简单特征构成特征向量,将向量中的每个特征值与其阈值范围进行比较,若在其范围内,则将该候选区域的权值加 1; 反之,权值不作处理。统计完毕后,为了避免目

标提取误差对特征统计造成的影响,规定当某区域的权值 ≥ 3 ,将其作为候选目标保留;反之,视为虚警去除。

2.2 深层二次鉴别

经过初层筛选已经去掉了大量的虚警,但仍有少数不易区分,需进行二次鉴别。

2.2.1 复杂特征的提取

二次鉴别提取的复杂特征主要有分形特征、纹理特征、不变矩特征和对称指数特征。分形特征^[7]能较好地模拟自然地物,而对于人工舰船目标则存在一定的差异,可以利用这种差异来加以区分;由于舰船目标与背景表现出自然的纹理差异,LBP(local binary pattern)特征^[8]对图像的局部纹理特征具有卓越的描绘能力,傅里叶变换也可利用图像的频率特性来描述纹理,通过多分辨率多通道特征对图像滤波来提取相应特征,可采用强度、熵和惯性3种常用量度来加以区分;不变矩特征则具有平移、旋转和尺度不变性,能高效地完成目标形状的描述;对称指数特征 S 是根据大多数舰船目标所呈现的对称形状^[9]提出的,即

$$S = 1 - \frac{(|A_{\text{before}} - A_{\text{after}}| + |A_{\text{left}} - A_{\text{right}}|)}{A}, \quad (5)$$

式中: A 为整个候选区域的面积; A_{before} 和 A_{after} 分别为以等效椭圆的短轴为分割线,前、后2部分区域的面积; A_{left} 和 A_{right} 分别为以等效椭圆的长轴为分割线,左、右2部分区域的面积。 S 用于衡量候选区域的对称性, S 值越接近于1,对称性越好。在图像中,大多数舰船目标表现出较好的对称性,只有部分目标不存在前后对称或受噪声影响不满足对称性,但 S 值均控制在一定范围内,可用于区分目标与背景。

2.2.2 特征选择与鉴别

为了充分利用特征,优选特征组合,需要计算各复杂特征区分目标与非目标的能力,特征的可区分性越好,鉴别性能就越好。本文采用特征分离法进行特征选择,利用类内、类间距离准则来衡量特征的可区分性,使得类内距离最小化和类间距离最大化,再选取满足一定阈值条件的最优特征构成鉴别特征组合。

设 $t_i^{(w)}$ ($w=1,2$)分别为样本库中目标与非目标切片的第 i 类特征子集,则第 i 类特征的类内距离 d_{in_i} 、类间距离 d_{out_i} 和可区分性 J_i 分别定义为

$$d_{\text{in}_i} = \sum_{w=1}^2 \frac{N_w}{N} \left[\frac{1}{N_w} \sum_{s=1}^{N_w} (t_{i,s}^{(w)} - \bar{t}_i^{(w)})^2 \right], \quad (6)$$

$$d_{\text{out}_i} = \sum_{w=1}^2 \frac{N_w}{N} \left[\left(\sum_{s=1}^{N_w} (\bar{t}_i^{(w)} - \bar{t}_i)^2 \right) \right], \quad (7)$$

$$J_i = d_{\text{in}_i} / d_{\text{out}_i}, \quad (8)$$

式中: N 为样本总数; N_w 为 w 类样本的个数; $t_{i,s}^{(w)}$ 和 $\bar{t}_i^{(w)}$ 分别为 w 类样本第 i 类特征的特征值和均值, $\bar{t}_i$ 为全部样本第 i 类特征的均值。 J_i 值越大,该特征的可区分性越强,越有利于鉴别。最后,通过比较 J_i 和阈值来实现特征的优选,文中选择分形维数、LBP特征的熵和惯性量度、傅里叶变换的强度量度、不变矩的前3个特征和对称指数特征,将它们组成适用于鉴别的特征向量 $\mathbf{F}$ 。

由于这些鉴别特征的可区分性不同,对鉴别的贡献程度也就不同,因此有必要根据特征的贡献能力构造加权特征向量。基于Fisher准则^[10]寻找最优权重向量 $\mathbf{r}^*$,定义为

$$J(\mathbf{r}) = \arg \max_{\mathbf{r}} \frac{\mathbf{r}^T D_{\text{in}} \mathbf{r}}{\mathbf{r}^T D_{\text{out}} \mathbf{r}}, \quad (9)$$

$$D_{\text{in}} = \sum_{w=1}^2 \frac{N_w}{N} \left[\frac{1}{N_w} \sum_{s=1}^{N_w} (\mathbf{f}_s^{(w)} - \bar{\mathbf{f}}^{(w)})^T (\mathbf{f}_s^{(w)} - \bar{\mathbf{f}}^{(w)}) \right], \quad (10)$$

$$D_{\text{out}} = \sum_{w=1}^2 \frac{N_w}{N} \left[\left(\sum_{s=1}^{N_w} (\bar{\mathbf{f}}^{(w)} - \bar{\mathbf{f}})^2 (\bar{\mathbf{f}}^{(w)} - \bar{\mathbf{f}}) \right) \right], \quad (11)$$

式中: $\mathbf{f}_s^{(w)}$ 为 w 类样本的特征向量; $\bar{\mathbf{f}}^{(w)}$ 为 w 类样本的特征均值向量; $\bar{\mathbf{f}}$ 为全部样本的特征均值向量,使特征向量可区分性 $J(\mathbf{r})$ 取极大值时的 $\mathbf{r}$ 即为最优权重向量 $\mathbf{r}^*$,则输入向量为 $\mathbf{F}^* = \mathbf{F} \mathbf{r}^*$ 。最后利用高斯核函数下的支持向量机^[11]作为鉴别器,完成鉴别工作。

3 实验结果对比与分析

为验证本文方法的可行性和有效性,在Intel(R)Core(TM)2 Quad CPU Q9400 2.66 GHz,内存3 GB的计算机中,Matlab R2009b的编程条件下进行对比实验与分析。

3.1 实验结果

利用本文方法对文献[2]检测得到的2个候选区域进行鉴别,鉴别结果如图4所示。为直观地反映鉴别效果,本文将鉴别前后的舰船目标用最小外接矩形框出并标记为红色,图4(a)和(c)为文献[2]方法的检测结果,黄色虚线区域为剔除的虚警。图4(b)和(d)为本文方法的鉴别结果。从图4(a)中可以看出,实例1的虚警主要是与小型舰船目标形状、区域统计特征相近的浮漂、礁石和部分碎云,图(c)中实例2的虚警则主要是由碎云或阴影导致的;而本文方法能够有效屏蔽礁石、碎云等的干扰,保留真正的舰船目标而将虚警去除,使得舰船检测的准确率提高、虚警率降低。

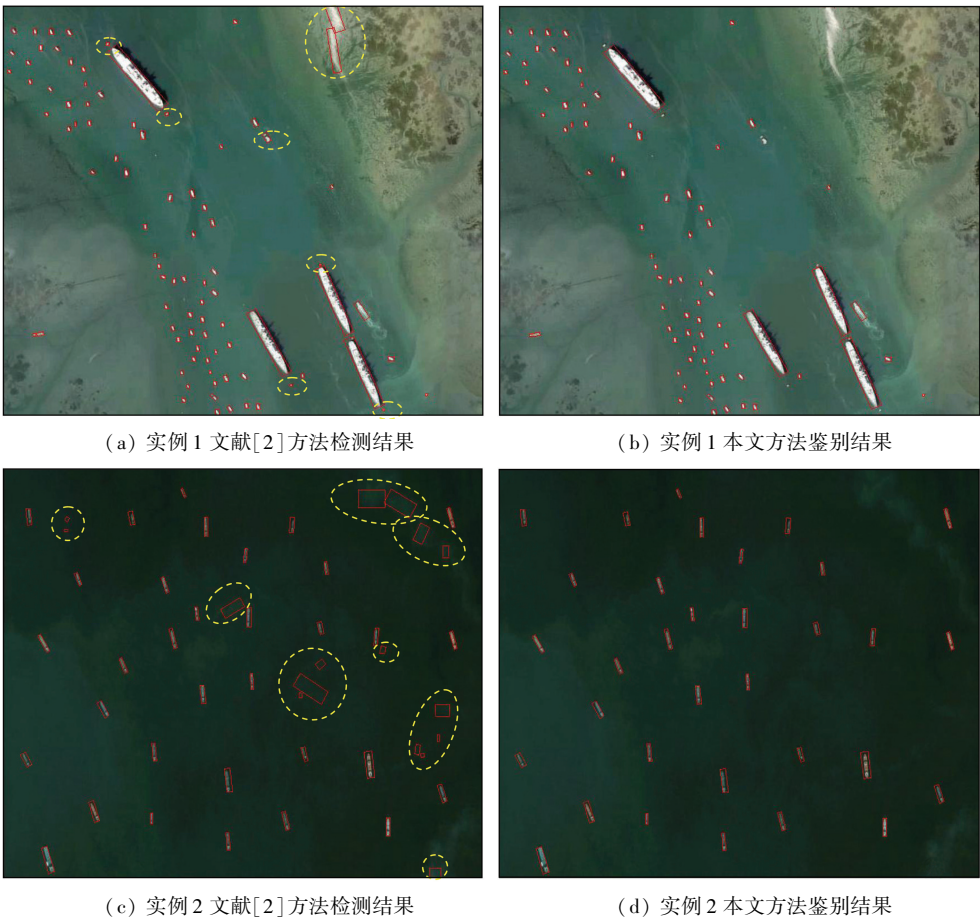


图 4 鉴别结果对比

Fig.4 Comparison of discrimination results

3.2 不同方法的鉴别结果对比

为进一步评价算法性能,将本文方法与序贯鉴别法和文献[11]方法进行对比实验与分析,结果如

图 5 和图 6 所示。图中红色虚线区域表示目标被当做虚警去除,造成漏检;黄色虚线区域则表示非目标被当做目标保留,造成虚警。

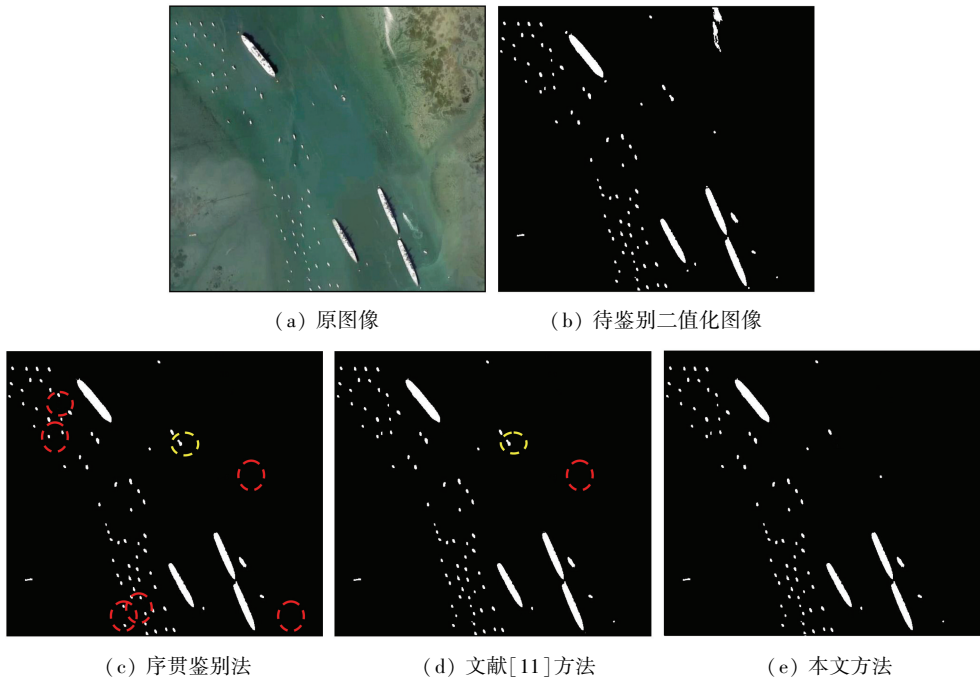


图 5 实例1 不同鉴别方法对比

Fig.5 Comparison of different discrimination methods for example 1

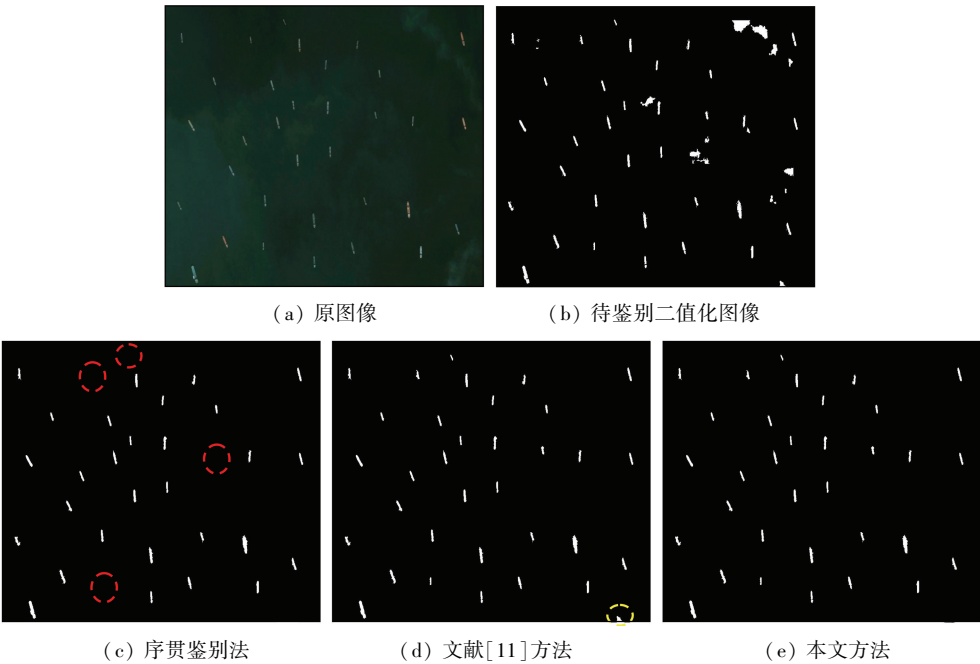


图 6 实例 2 不同鉴别方法对比

Fig. 6 Comparison of different discrimination methods for example 2

图 5 (c) 中许多目标由于未满足序贯阈值条件而被当成虚警去除, 图中礁石却因特征与目标相近而被鉴别为目标; 图 6 (c) 中目标因受到外界干扰, 导致其形状不能满足要求而被去除。由此可知, 序贯鉴别法的鉴别条件过于严格, 当目标区域提取不够精确或受到外界因素影响不能满足阈值要求时, 就会造成漏检, 效果较差。文献[11]方法与本文方法的鉴别效果都比较好, 但文献[11]方法仍存在极少数量的漏检和虚警, 如图 5 (d) 和图 6 (d) 中的黄色虚线区域, 鉴别性能与本文方法相比不够稳定; 从图 5 (e) 和图 6 (e) 中可以看出, 本文方法能在一定程度上减少外界因素的影响, 且鉴别性能较稳定, 提高了整体检测正确率, 降低了虚警率, 相比其他方法具有较大优势。

3.3 结果参数对比分析

选取多幅实验图像, 采用不同的鉴别方法对检测结果进行鉴别效果对比。选用以下参数进行定量分析, 检测到的目标数量 N_D , 检出的正确目标数量 N_C , 检出的虚警数量 N_{FAR} , 漏检的目标数量 N_M , 鉴别总时间 T , 以及检测率 DR 、虚警率 FAR 和品质因子 FOM , 即

$$DR = \frac{N_C}{N_R} \times 100\% \quad , \quad (12)$$

$$FAR = \frac{N_{FAR}}{N_{FAR} + N_R} \times 100\% \quad , \quad (13)$$

$$FOM = \frac{N_C}{N_{FAR} + N_R} \times 100\% \quad 。 \quad (14)$$

计算出的结果如表 2 所示。

表 2 目标鉴别结果参数分析

Tab. 2 Analysis of target discrimination parameters

鉴别方法	N_D	N_C	N_{FAR}	N_M	$DR/\%$	$FAR/\%$	$FOM/\%$	T/s
鉴别前	193	138	55	0	100	28.49	71.50	—
序贯鉴别法	128	124	4	14	92.75	2.81	87.32	10.36
文献[11]方法	139	137	2	1	99.27	1.42	97.85	52.69
本文方法	138	137	1	1	100	1.42	99.27	18.45

经过目视判读, 图像中大、小目标数量共有 138 个。由表 2 可知, 鉴别前直接检测结果的漏检数量为 0, 虚警数量较多, DR 值很高, 可知检测算法为了尽量涵盖图像中的全部目标而增大了虚警率, 但同时降低了检测性能(见其参数 FOM 值)。检测结果输入鉴别器处理后, 各方法都有效地减少了虚警数量, 但又各有差异: 序贯鉴别法虽然减少了虚警, 但

同时也造成了部分漏检, 使得 DR 降低, 影响整体检测性能; 文献[11]的方法和本文方法都能在降低虚警率的同时保证了较高的检测率, 既去除了虚警又保留了目标, 但从表 2 中可以看出, 本文方法鉴别结果要稍好于前者。最后, 通过比较各方法所用的时间可以发现, 本文方法虽然较序贯鉴别法耗时长, 但鉴别性能远远高于它; 而与性能相差不大的文献

[11]方法相比,耗时仅为其所用时间的 1/3。综上所述,本文方法能正确有效地去除虚警、保留目标,使得虚警率降低,整体检测性能得到大幅提高。

4 结 论

本文分析了目前常用的基于目标自身特征的鉴别方法,对目标特征的提取进行了深入研究。针对目前的特征提取方法无法较好地兼顾可区分性、可鉴别性和计算复杂度等要求,影响鉴别效率等问题,提出一种基于分层特征描述的鉴别方法。该方法通过提取简单特征对候选区域进行初层筛选,去除了大量虚警,减少了后续工作的计算量;针对性地提取适用于舰船目标的复杂精细特征进行深层二次鉴别,使得鉴别结果更加准确,效率更高。

参考文献 (References):

[1] Corbane C, Najman L, Pecoul E et al. A complete processing chain for ship detection using optical satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(22): 5837 – 5854.

[2] Bi F K, Liu F, Gao L N. A hierarchical salient – region based algorithm for ship detection in remote sensing images[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2010, 67: 729 – 738.

[3] Li W W. Detection of Ship in Optical Remote Sensing Image of Median – low Resolution[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008: 19 – 21.

[4] Lu C Y, Zou H X, Sun H, et al. Combining rough set and RBF neural network for large – scale ship recognition in optical satellite images

[C]//Proceedings of the 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE35). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, SCI, 2014, 17(1).

[5] 李 禹, 王世晞, 计科峰, 等. 一种新的高分辨率 SAR 图像目标自动鉴别方法[J]. 国防科技大学学报, 2007, 29(3): 81 – 84.

Li Y, Wang S X, Ji K F, et al. A new method of automatic target discrimination in high – resolution SAR image[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2007, 29(3): 81 – 84.

[6] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. Digital Image Processing Using MATLAB[M]. Translated by Ruan Q Q. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005: 315 – 319.

[7] 刘 凯. 基于分形几何理论的虹膜识别算法研究[D]. 济南: 山东大学, 2011: 13 – 20.

Liu K. The Research of Iris Recognition Algorithms Based on Fractal Geometry[D]. Ji’ nan: Shandong University, 2011: 13 – 20.

[8] 许军毅. 光学卫星遥感图像舰船目标检测技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2011: 73 – 80.

Xu J Y. The Study of Ship Target Detection in Optical Satellite Remote Sensing Image[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011: 73 – 80.

[9] Delphine C M. Ship detection with spaceborne multichannel SAR/GMTI radars [C]//Proceedings of 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2012: 400 – 403.

[10] Gao G. An improved scheme for target discrimination in high – resolution SAR images[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2011, 49(1): 277 – 294.

[11] Dardas N H, Georganas N D. Real – time hand gesture detection and recognition using bag – of – features and support vector machine techniques[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2011, 60(11): 3592 – 3607.

Ship target discrimination based on hierarchical feature description

CHENG Hong¹, LIU Sitong^{1,2}, SUN Wenbang¹, YANG Shuai¹

(1. Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China; 2. Xi’an Flight Academy of Air Force, Xi’an 710306, China)

Abstract: In view of the problem that current methods cannot reach a good balance between capability of discrimination, utility and computational complexity, the authors have proposed in this paper an algorithm based on hierarchical feature description. Firstly, simple shape or geometrical features are extracted to get rid of large numbers of false – alarm targets based on weighted voting. Secondly, complex discrimination features are selected to form the optimal feature set by feature separation. And then the feature set is used to support vector machine to get the real ship target. Experimental results show that the proposed algorithm in this paper, which extracts hierarchical features to certain regions identified, can effectively eliminate false alarms, reduce the amount of computation, and improve accuracy and efficiency of discrimination, and can also reduce the influence of external factors, remove false alarm and reserve the targets effectively, with time spending being only 1/3 of the common method.

Keywords: ship target discrimination; simple feature; complex feature; hierarchical description

第一作者简介: 程 红(1969 –),女,博士,教授,硕士研究生导师。主要从事遥感图像信息处理。

通信作者: 刘思彤(1989 –),女,硕士,助教,主要研究数字图像处理与应用。Email: liusitong1114@163.com。

(责任编辑: 陈 理)